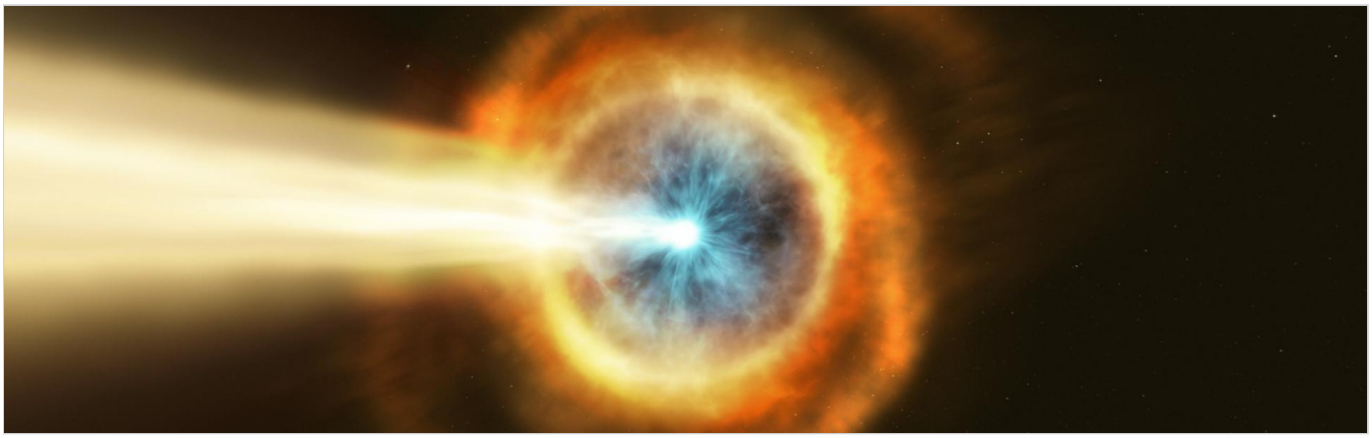
ASTROFÍSICAACTUALIDAD

Los estallidos de rayos gamma más energéticos jamás observados

Dos equipos de investigadores que estudiaron sendos estallidos de rayos gamma con los telescopios terrestres MAGIC y HESS logran detectar fotones con una energía nunca vista en este tipo de explosiones, las más potentes del universo.

Lee Billings



Recreación artística del estallido de rayos gamma GRB 190114C. Los telescopios MAGIC, en la isla de La Palma, estudiaron este evento y detectaron fotones de un teraelectronvoltio. Esta energía, un billón de veces mayor que la de la luz visible, es la más alta que se ha observado nunca en este tipo de explosiones. [ESA/Hubble, M. Kornmesser]

Las explosiones más potentes del universo son aún más energéticas de lo que pensaban los científicos, de acuerdo con los resultados presentados por dos equipos de astrónomos en tres

artículos de la revista *Nature*.

Los **estallidos de rayos gamma** (GRB, por sus siglas en inglés) alcanzan la Tierra casi cada día, sin previo aviso, desde las vastas profundidades del cosmos. Se cree que estos fenómenos señalan el nacimiento de un agujero negro tras el colapso de una estrella masiva o la fusión de dos estrellas de neutrones.

Debido a que los GRB suelen emitir en cuestión de segundos más energía de la que producirá nuestro Sol en sus 10.000 millones de años de vida, pueden verse a lo largo de casi todo el universo... siempre que tengamos el equipamiento adecuado, ya que los rayos gamma son invisibles para nuestros ojos. Además, son tremendamente energéticos: tanto, que destruyen los átomos y moléculas de la atmósfera de la Tierra con una enorme eficacia, desapareciendo antes de poder llegar a los telescopios terrestres.

Por esa razón, en los decenios transcurridos desde su descubrimiento casual a finales de los años 60 (fueron detectados por los satélites que lanzó el Gobierno de EE.UU. para vigilar posibles ensayos nucleares en el espacio y la atmósfera), los rayos gamma de los GRB han sido estudiados sobre todo desde observatorios espaciales. Pero los detectores que transportan esos satélites son demasiado pequeños para registrar los rayos gamma de mayor energía, los cuales deberían constituir una pequeña fracción de la radiación emitida por un GRB de acuerdo con las predicciones teóricas.

TAMBIÉN TE PUEDE INTERESAR

Origen y evolución del un

MÁS INFORMACIÓN

Así las cosas, nadie sabía realmente cuán potentes podían llegar a ser estos estallidos. En las últimas tres décadas, los astrónomos han tratado de captar las esquivas componentes ultraenergéticas de los GRB empleando conjuntos de telescopios terrestres más grandes. Estos instrumentos detectan la denominada «luz Cherenkov»: el tenue resplandor que se produce cuando los rayos gamma de mayor energía impactan contra la atmósfera superior. Sin embargo, solo son sensibles a los GRB más brillantes y cercanos, y se enfrentan a condiciones de observación muy complicadas, por lo que ninguno de sus intentos había tenido éxito hasta la fecha.

No obstante, en el lapso de seis meses, dos equipos internacionales han detectado rayos gamma ultraenergéticos en sendos GRB empleando telescopios Cherenkov terrestres. La primera de esas detecciones tuvo lugar en julio de 2018: HESS, un conjunto de telescopios situado en Namibia (el mayor de los cuales tiene un espejo de 28 metros), registró rayos gamma con una energía de más de 100 gigaelectronvoltios (unas 100.000 millones de veces

mayor que la de un fotón de luz visible) procedentes de un evento bautizado como GRB 180720B.

La segunda detección se produjo en enero de 2019, cuando los telescopios **MAGIC**, dos instrumentos gemelos de 17 metros situados en la isla canaria de La Palma, observaron fotones de un teraelectronvoltio (unas 10 veces más energéticos que los registrados por HESS) provenientes del evento GRB 190114C. Las energías medidas por HESS y MAGIC se alcanzan de manera habitual en los aceleradores de partículas, pero no se habían visto nunca en un estallido de rayos gamma. (Aunque sí se han detectado fotones de energías parecidas o mayores —**llegando incluso a superar los 100 teraelectronvoltios** — procedentes de otras fuentes celestes.)

ARTÍCULOS RELACION

Los estallidos cósmicos rayos gamma

Una nueva imagen de universo violento

La Red de Telescopios Cherenkov

VER MÁS

Los resultados sugieren que la energía liberada por los rayos gamma más intensos de un GRB es equiparable a la energía total del resto de sus emisiones. Eso significa que, hasta ahora, los astrónomos solo habían detectado aproximadamente la mitad de la energía total producida por cualquier GRB.

«Nuestro descubrimiento implica que los GRB son más energéticos de lo que pensábamos», confirma Razmik Mirzoyan, miembro de la colaboración MAGIC en el Instituto Max Planck de Física de Múnich y coautor de los **dos artículos** publicados en *Nature* sobre la explosión de enero de 2019. «Había mucha energía que no estábamos viendo... Ahora podemos delimitar de

manera más precisa los distintos parámetros que sirven para caracterizar los GRB y entenderlos mucho mejor.»

«Antes de estas detecciones, era difícil identificar los GRB con más probabilidades de producir rayos gamma de energías muy elevadas», explica la mexicana Edna Ruiz-Velasco, investigadora de la colaboración HESS en el Instituto Max Planck de Física Nuclear de Heidelberg y coautora del **estudio de ese grupo** sobre el evento GRB 180720B. «Ahora que hemos visto algunos, debería ser más fácil decidir qué GRB observar y cuánto tiempo dedicarles, lo que aumenta las posibilidades de detectar más GRB en el futuro.»

Entre los rescoldos

Un GRB ocurre en dos etapas: un primer destello muy intenso (la llamada «emisión rápida») compuesto casi exclusivamente por rayos gamma, seguido de un resplandor residual (que recibe el nombre de «rescoldo» o posluminiscencia) formado por luz de múltiples frecuencias y que se desvanece poco a poco. El destello puede durar hasta un minuto y proviene de dos chorros de partículas emitidas casi a la velocidad de la luz desde el exterior del agujero negro recién formado. La posluminiscencia corresponde a la onda de choque que se produce cuando los chorros impactan contra el gas circundante, y puede persistir durante meses o incluso años.

Los astrónomos emplean ágiles telescopios espaciales, como los satélites Swift y **Fermi** de la NASA, para tratar de captar los repentinos y breves destellos de los GRB. Esas detecciones generan alertas automáticas que se envían a centros de investigación de todo el mundo, lo cual permite que una gran cantidad de instrumentos terrestres y espaciales (entre ellos MAGIC y HESS) estudien el persistente rescoldo del GRB.

MAGIC y HESS no solo observaron distintos estallidos, sino también diferentes fases de la posluminiscencia. La noche del 20 de julio de 2018, HESS comenzó su observación del estallido GRB 180720B unas diez horas después de la detección inicial de Swift y Fermi, que localizaron el evento cerca de la constelación de Piscis. Los investigadores no se dieron cuenta de que habían captado rayos gamma ultraenergéticos hasta más adelante, cuando analizaron meticulosamente los datos. El equipo de HESS anunció el hallazgo de manera preliminar en un simposio celebrado en Bolonia el 8 de mayo de 2019.

«La lección más sorprendente que se extrae de nuestro trabajo es que se puede estudiar la emisión de los GRB incluso varias horas después del comienzo del estallido, en plena posluminiscencia», reflexiona Ruiz-Velasco. «Con los futuros telescopios podremos llegar aún más lejos, tanto en lo referente al tiempo como a la energía.»

En contraste con la tardía mirada de HESS, cuando las alertas de Swift y Fermi anunciaron la llegada de GRB 190114C desde la constelación de Fornax en la noche del 14 de enero de 2019,

los telescopios de MAGIC no tardaron ni un minuto en girar para observar el rescoldo. A lo largo de los 20 minutos que duraron sus observaciones iniciales, MAGIC detectó miles de fotones de alta energía en la aún reciente posluminiscencia del estallido.

«Enseguida comenzamos a escribir correos electrónicos y a llamar a nuestros expertos en el análisis de datos, que se encuentran repartidos por muchos países, desde España hasta Alemania y Japón», rememora Mirzoyan. «Después de intercambiar 64 correos y numerosas llamadas, comprendí que realmente habíamos hecho un descubrimiento.»

Cuatro horas después de la primera alerta, Mirzoyan y sus colegas enviaron otra más general a astrónomos de todo el mundo. En última instancia, lograron que otras dos docenas de instrumentos terrestres y espaciales estudiaran el rescoldo en un amplio abanico de longitudes de onda, desde las de radio hasta las visibles y de rayos X. Junto con los datos iniciales de MAGIC y las mediciones de HESS, esa campaña global ha proporcionado pistas fundamentales sobre el mecanismo que produce las emisiones más energéticas que se hayan visto nunca en un GRB.

Un doble pico revelador

Los investigadores saben desde hace decenios que la mayoría de los rayos gamma emitidos durante la posluminiscencia de un GRB provienen de la radiación de sincrotrón (fotones liberados por los electrones que giran en el seno de campos magnéticos intensos). Pero el origen de los rayos gamma de más de 100 gigaelectronvoltios continuaba siendo un misterio.

La principal teoría sostiene que estas emisiones más energéticas se deben a un proceso conocido como efecto Compton inverso: los mismos electrones que producen la radiación de sincrotrón incrementarían la energía de esos fotones al chocar contra ellos.

Una predicción clave de estos modelos es que la distribución de energía de la posluminiscencia de un GRB debería exhibir un «doble pico» característico: un pico correspondería a la emisión de sincrotrón y otro a los fotones más energéticos generados por el efecto Compton inverso. Las observaciones de GRB 190114C en múltiples longitudes de onda, iniciadas por el equipo de MAGIC y colideradas por Elena Moretti, investigadora del Instituto de Física de Altas Energías (IFAE) de Barcelona, muestran claramente este doble pico, que también se observa de manera menos nítida en los datos de GRB 180720B obtenidos por el equipo de HESS.

La hipótesis de la emisión debida al efecto Compton inverso empezó a ganar enteros gracias a una serie de investigaciones tempranas realizadas por al menos tres grupos distintos —alguno de ellos liderado por los creadores de la teoría— a partir de los datos preliminares de MAGIC. «Estas nuevas observaciones son la piedra de Rosetta de los GRB», apunta Tsvi Piran, astrofísico de la Universidad Hebrea de Jerusalén, quien a finales de la década de

1990 desarrolló un visionario modelo de la posluminiscencia de los GRB con sus colaboradores Re'em Sari y Ramesh Narayan. «Nos permiten determinar las condiciones [en que se producen] con una certeza y precisión sin precedentes, y abren una nueva ventana a nuestra comprensión de estos eventos.»

Piran y Evgeny Derishev, de la Academia de Ciencias de Rusia, publicaron en agosto **su propio análisis** de la posluminiscencia de GRB 190114C, realizado a partir de los datos que habían hecho públicos MAGIC y Swift. Y también atribuyeron el origen de la componente de alta energía al efecto Compton inverso.

«Debo reconocerlo: me decepcionó que [el equipo de MAGIC] no mencionara que nuestro análisis de sus datos preliminares ya había arrojado la misma conclusión», admite Piran. «Conocen de sobra nuestros resultados, pero solo los citan en el apartado de métodos de su artículo. En lo que respecta a las conclusiones sobre el modelo, no hay diferencias significativas entre nuestro trabajo y el del grupo de MAGIC.»

Mirzoyan apunta que Derishev y Piran tuvieron que «realizar cálculos aproximados con incertidumbres no despreciables o recurrir a conjeturas razonables», precisamente porque su trabajo se basaba en la escasa información publicada inicialmente por MAGIC en vez de en el conjunto completo de datos. Debido a esos cálculos y conjeturas, prosigue, existen «diferencias verdaderamente significativas» entre los dos estudios; por ejemplo, en la manera de modelizar los campos magnéticos del GRB. «Ellos tuvieron que "especular", mientras que nosotros disponíamos de datos que nos permitieron restringir las posibilidades», argumenta.

Dejando a un lado estas controversias, el astrofísico de la Universidad de Nevada Bing Zhang (otro de los científicos que contribuyó de manera crucial a la teoría de la posluminiscencia de los GRB y autor de **un comentario** que acompaña a los resultados de MAGIC y HESS) afirma que el descubrimiento augura un futuro brillante para el campo. Una nueva generación de observatorios ya están recopilando datos de nuevos GRB o pronto comenzarán hacerlo. Entre ellos cabe destacar la **Red de Telescopios Cherenkov** (CTA, Cherenkov Telescope Array), un proyecto internacional con instalaciones en Chile y en la isla de La Palma, y el Gran Observatorio de Cascadas Atmosféricas a Gran Altitud (LHAASO) en China.

«Por fin hemos detectado una señal que se esperaba teóricamente desde hace veinte años, gracias al impresionante trabajo de experimentales y observadores», celebra Zhang. «La detección no constituyó una sorpresa, pero es posible que descubramos otros secretos en futuras observaciones, especialmente las de eventos cercanos y brillantes.» (El uso del término «cercano» es relativo: los estallidos observados por MAGIC y HESS se sitúan a unos 5500 millones y 8000 millones de años luz de la Tierra, respectivamente, aunque esas distancias pueden considerarse a la vuelta de la esquina al hablar de GRB.)

Ahora que los telescopios Cherenkov terrestres han demostrado que son capaces de detectar los GRB, añade Zhang, podrían estudiar este tipo de eventos **conjuntamente con detectores de neutrinos y observatorios de ondas gravitacionales**, lo que permitiría analizar las explosiones más impresionantes del universo con un nivel de detalle sin precedentes.

Lee Billings

Referencias: «**Teraelectronvolt emission from the γ-ray burst GRB 190114C**», Colaboración MAGIC en *Nature*, vol. 575, págs. 455-458, 20 de noviembre de 2019; «**Observation of inverse Compton emission from a long γ-ray burst**», Colaboración MAGIC et al. en *Nature*, vol. 575, págs. 459-463, 20 de noviembre de 2019; «**A very-high-energy component deep in the γ-ray burst afterglow**», H. Abdalla et al. en *Nature*, vol. 575, págs. 464-467, 20 de noviembre de 2019.